

Г.Д. Копосов, А.В. Тягунин

О ТЕПЛОВОЙ АКТИВНОСТИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПРИ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Аннотация. В работе проанализированы известные метаморфические процессы в снегу, с точки зрения энергетического подхода. Список этих процессов дополнен процессами, связанными со стеканием квазижидкого слоя с гранул снега. Представлены экспериментальные результаты по исследованию тепловыделения из снежного объема и градиента температур по глубине снежного покрова. Подчеркнуто, что снежный покров является не просто пассивным проводником тепла, но является и тепловыделяющим.

Ключевые слова: квазижидкий слой, метаморфизм снега, снежный покров, тепловыделение фирнизация.

Abstract. In work known metamorphic processes in snow from the point of view of power approach are analysed. The list of these processes is added with the processes connected with running off of a quasiliquid layer from granules of snow. Experimental results on thermal emission research from the snow volume and a gradient of temperatures on depth of snow cover are presented. It is emphasized that snow cover is not simply passive conductor of heat, but is and heatallocating.

Keywords: quasiliquid layer, snow metamorphism, snow cover, thermal emission, firnization.

Введение

Метаморфизмом снега называется совокупность процессов, происходящих в нем, которые приводят к преобразованию его структуры – изменению формы, размеров и количества кристаллов льда и связей между ними. Различают следующие виды метаморфизма: изотермический, температурно-градиентный, таяния и замерзания, динамический [1, 5, 7].

Выделим основные процессы, приводящие к энерговыделению. В соответствии с международной классификацией снежинок только три: крупя, ледяной дождь и град – имеют форму близкую к минимуму поверхностной энергии. Для наиболее распространенных пластинчатых и звездчатых снежинок стремление к сферической форме, будет сопровождаться фирнизацией – переход к крупе. Этот переход сопровождается выделением энергии при уменьшении площади поверхности:

$$\Delta W_{нов} = \sigma \Delta S ,$$

где σ - коэффициент поверхностного натяжения, ΔS - изменение площади поверхности. Кинетически этот процесс проявляется в переходе молекул с более выпуклых участков к менее выпуклым.

Другой процесс связан с переходом молекул воды с более мелких зерен к крупным, по причине разности лапласовских давлений у поверхностей. Этот процесс является перекристаллизацией и приводит к постепенному превращению мелкозернистого снега (0,1 – 1 мм) в среднезернистый (1 – 2 мм), а затем в крупнозернистый (более 2 мм).

Третий процесс (температурно-градиентный метаморфизм) связан с большим давлением водяного пара в области высоких температур. Происходит диффузия пара из области с более высокой температурой в область меньших температур. Этот процесс также сопровождается выделением энергии.

Четвертый процесс, связан с существованием на поверхности гранул снега, квазизжидкого слоя [3, 4]. Под действием силы гравитации происходит стекание квазизжидкого слоя [6]. Квазизжидкий слой, из молекул связанной воды, стекая, переходит в свободную воду, которая в нижних слоях заполняет поры между гранулами льда и кристаллизуется с выделением энергии. Этот процесс является основным при наращивании льда в ледниках в зимний период.

Методика эксперимента

Для исследования тепловыделения при метаморфических процессах в снежном покрове в лабораторных исследованиях, был сконструирован термопарный калориметр (рисунок 2), внешняя и внутренняя части которого – металлические цилиндры, с расположенными между ними десятком последовательно соединенных медь-константановых термопар, позволявших определить тепловой поток.

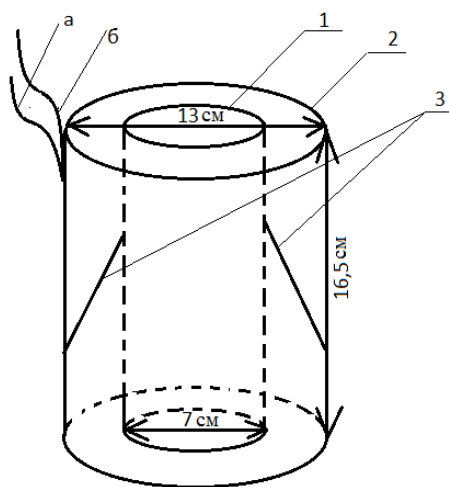


Рис. 2. Термопарный калориметр

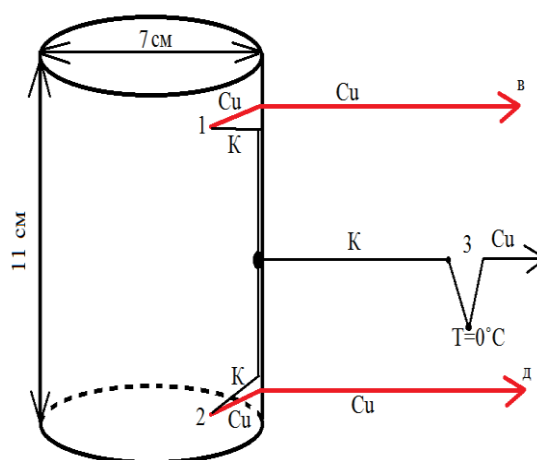


Рис. 3. Измерительная ячейка

Выходной сигнал с термопар измерялся микровольтметром В7-65/3. Чувствительность по тепловому потоку составляла 48 мкВ/мВт. Пространство между цилиндрами и торцы калориметра были теплоизолированы.

Измерительная ячейка представляла собой пластиковый стакан, вместимостью $V = 4.2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$. Для измерения температуры в средней части и разности температур между дном и верхом снежного объема сконструирована комбинированная термопара (рисунок 3).

После заполнения ячейки снегом, калориметр с ячейкой помещался в морозильную камеру, в которой каждые 10 дней эксперимента устанавливалась температура -10; -8; -6; -4; -2°C.

Экспериментальные результаты.

Результаты измерений представлены на рисунках 4 и 5.

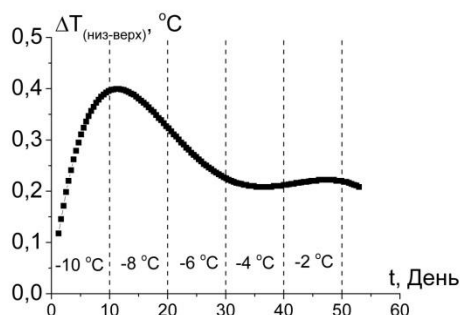


Рис. 4. Временная зависимость разности температур $\Delta T_{\text{низ-верх}}$

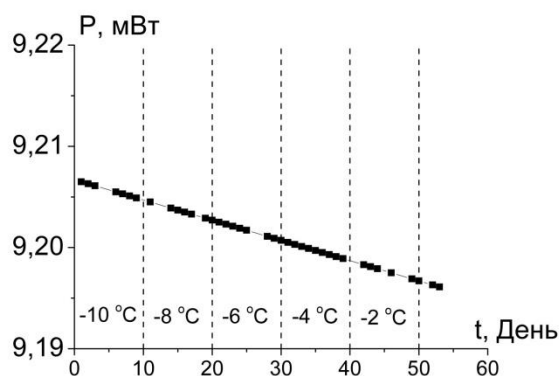


Рис. 5. Временная зависимость мощности теплового потока, выходящего из объема измерительной ячейки

Из рисунка 4 видно, что нарастание $\Delta T_{\text{низ-верх}}$ наблюдалось в первые 12 дней, что связано со стабилизацией процесса стекания квазижидкого слоя. Убывание $\Delta T_{\text{низ-верх}}$ с 12 по 53 день эксперимента можно объяснить двумя факторами. Во-первых, интенсивность процесса стекания более холодного квазижидкого слоя, приводит к уменьшению $\Delta T_{\text{низ-верх}}$. Второй аспект связан с диффузией водяного пара, скорость которой возрастает с увеличением температуры и дополнительным подогревом холодного конца, вследствие конденсации паров воды.

Рисунок 5 свидетельствует о слабом убывании (1% за 53 дня) мощности теплового потока, выходящего из объема измерительной ячейки. Если перейти к естественным реалиям, то мощность составит $P \approx 22 \text{ Вт} / \text{м}^3$. Учитывая размеры снежного покрова можно представить $P_s \approx 22 (\text{Вт} / \text{м}^3) \cdot h(\text{м})$, где P_s - мощность потока через 1 м².

Результаты. Резюмируя результаты, можно сказать следующее:

- Обращено внимание на необходимость введения еще одного процесса метаморфизма снежного покрова – стекание квазижидкого слоя, под действием сил гравитации.
- Обнаружено появление дополнительного градиента температур в снежном покрове. Это приводит к уменьшению естественного градиента температур во льду и его увеличению в снежно-ледяном покрове озер, рек, морей в зимний период.
- Экспериментально установлено, что снежный покров не является пассивным проводником тепла. Активность снежного покрова проявляется в генерации тепловой энергии мощностью 22 Вт/м³.

Библиография

1. Войтковский К.Ф. Лавиноведение. - М.: Изд-во МГУ. - 1989. – 157с.
2. Гляциологический словарь. Гидрометеиздат. - 1984. - 528с
3. Копосов Г.Д., Тягунин А.В. Калориметрические исследования квазижидкого слоя на поверхности гранул льда // Письма в ЖЭТФ. – 2011, Т. 94, вып. 5. - С. 406 – 409.
4. Маэно Н. Наука о льде. - М.: Мир. - 1988. - 232 с.
5. Тушинский Г.К. Основы общей и региональной гляциологии. Вып. 1. - Изд-во МГУ. - 1969. - 194 с.
6. Тягунин А.В., Копосов Г.Д. Механическая смесь гранулированного льда с песком. Тепловые и электрофизические свойства: Монография. LAP LAMBERT Academic publishing GmbH & Co. KG. - 2012. - 188 с.
7. Jill A.Fredston, Doug Fesler Snow Sense: A Guide to Evaluating Snow Avalanche Hazard. Alaska Mountain Safety Center. Incorporated. - 1999. - 116p.